



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

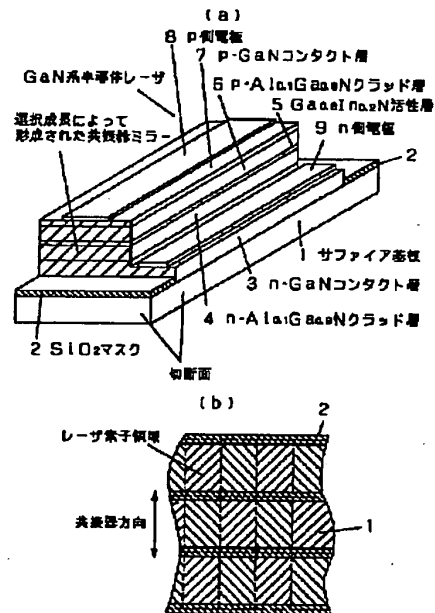
(11) Publication number: **10256645 A**(43) Date of publication of application: **25.09.98**(51) Int. Cl. **H01S 3/18**(21) Application number: **09057285**(22) Date of filing: **12.03.97**(71) Applicant: **MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD**(72) Inventor: **KIDOGUCHI ISAO  
ADACHI HIDETO  
KUME MASAHIRO  
ISHIBASHI AKIHIKO  
BAN YUZABURO**(54) SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING ELEMENT  
AND FABRICATION THEREOF

## (57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a GaN based semiconductor laser in which a resonance is formed by selective growth.

**SOLUTION:** The semiconductor light emitting element has double heterostructure where an  $n\text{-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  clad layer 4 and a  $p\text{-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  clad layer 6 sandwiching an  $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$  active layer 5 are formed on a (0001) face sapphire substrate 1 through an  $n\text{-GaN}$  contact layer 3. A  $p\text{-GaN}$  contact layer 7 is formed on the  $p\text{-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  clad layer 6 and a  $p\text{-side}$  electrode 8 is provided on the  $p\text{-GaN}$  contact layer 7. Since a semiconductor multilayer including the active layer is formed in an opening made through an insulator by selective growth, a resonator mirror can be formed by selective growth without requiring any etching.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO





(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-256645

(43)公開日 平成10年(1998)9月25日

(51)Int. Cl.<sup>6</sup>

識別記号

FI

H01S 3/18

H01S 3/18

審査請求 未請求 請求項の数26 OL

(全11頁)

(21)出願番号 特願平9-57285

(22)出願日 平成9年(1997)3月12日

(71)出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72)発明者 木戸口 勲

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72)発明者 足立 秀人

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72)発明者 桑 雅博

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(74)代理人 弁理士 滝本 智之 (外1名)

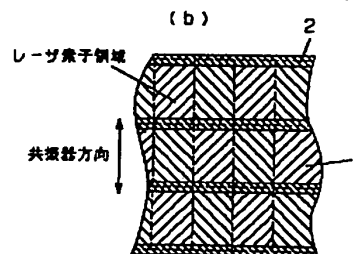
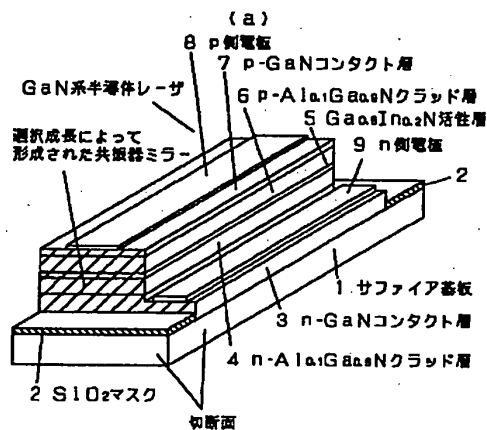
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 半導体発光素子およびその製造方法

(57)【要約】

【課題】 選択成長により共振器を形成するGa<sub>0.8</sub>N系半導体レーザを提供する。

【解決手段】 (0001) 面サファイア基板1上にn-GaNコンタクト層3を介してIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N活性層5をn-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層4およびp-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層6で挟むダブルヘテロ構造を有している。p-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層6の上には、p-GaNコンタクト層7を有し、p-GaNコンタクト層7側にはp側電極8が設けてある。活性層を含む半導体多層膜は、絶縁膜に形成した開口部に選択成長によって形成されているので、エッチングを用いなくても、選択成長により共振器ミラーが形成できる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】基板と、前記基板主面上に形成された選択成長可能な膜と、前記選択成長可能な膜に形成された開口部と、前記開口部に形成された半導体多層膜とを備え、

前記半導体多層膜の両端面が選択成長により形成された共振器になっている、半導体発光素子。

【請求項2】前記半導体多層膜は、前記開口部と前記選択成長可能な膜の一部にも形成されている請求項1に記載の半導体発光素子。

【請求項3】前記半導体多層膜における、前記基板主面と垂直の相対する二つの共振器端面が前記選択成長可能な膜上にも形成されており、前記共振器の最上面が、発光波長のエネルギーよりも大きなバンドギャップエネルギーを有する請求項2に記載の半導体発光素子。

【請求項4】前記共振器端面が、高抵抗化されている請求項3に記載の半導体発光素子。

【請求項5】基板主面上に、選択成長可能な膜を形成する工程と、前記膜に開口部を形成する工程と、前記開口部に、pn接合を有する半導体多層膜を選択成長により形成する工程とを備え、前記選択成長によって形成された半導体多層膜の、前記基板主面と垂直の相対する二つの面をレーザ共振器とする、半導体レーザの製造方法。

【請求項6】前記半導体多層膜は、前記開口部と前記選択成長可能な膜の一部にも形成されている、請求項5に記載の半導体発光レーザの製造方法。

【請求項7】前記半導体多層膜における、前記基板主面と垂直の相対する二つの共振器端面が前記選択成長可能な膜上にも形成されており、前記共振器の最上面が、発光波長のエネルギーよりも大きなバンドギャップエネルギーを有する請求項6に記載の半導体レーザの製造方法。

【請求項8】前記共振器端面をの近傍を高抵抗化する工程を有する請求項7に記載の半導体レーザの製造方法。

【請求項9】水素原子を含有するガス中で熱処理することによって高抵抗化する請求項8に記載の半導体レーザの製造方法。

【請求項10】前記選択成長可能な膜で隣接する半導体素子を分離する工程を有する請求項5に半導体レーザの製造方法。

【請求項11】半導体多層膜が、AlGaInN系材料で構成されている請求項5～10のいずれかに記載の半導体レーザの製造方法。

【請求項12】半導体多層膜が、AlGaInN系材料で構成されている請求項1～4のいずれかに記載の半導体発光素子。

【請求項13】活性層を有する半導体レーザであって、前記レーザの共振器端面のコーティング膜が $Sr_xTi_yO_z$ 材料である半導体レーザ。

【請求項14】活性層を含む半導体多層膜が、AlGa 50

InN系材料で構成されている請求項13に記載の半導体レーザ。

【請求項15】半導体の積層膜が、 $GaxIn_{1-x}N$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) と、Al組成が0.1以上である $Al_kGa_lIn_mN$  ( $0.1 \leq k, l, m \leq 1, k+l+m=1$ ) とを有する半導体多層膜であって、少なくともフッ素を含有するガスを用いて選択的に前記 $GaxIn_{1-x}N$ 層の一部をエッチングする、ドライエッチング方法。

【請求項16】塩素を含有するガスとフッ素の含有するガスとの混合ガスを用いる請求項15に記載のドライエッチング方法。

【請求項17】レーザ光を単一横モードにするためのストライプ状の開口部を有する半導体レーザであって、キャリアを活性層に注入する幅が該ストライプの幅よりも狭い半導体レーザ。

【請求項18】レーザ光を単一横モードにするためのリッジ状のストライプを有する半導体レーザであって、キャリアを活性層に注入する幅が該リッジ状のストライプの幅よりも狭いこと半導体レーザ。

【請求項19】前記半導体レーザが $Al_kGa_lIn_mN$  ( $0 \leq k, l, m \leq 1, k+l+m=1$ ) 系材料で構成されている請求項17または18に記載の半導体レーザ。

【請求項20】量子井戸を有する半導体発光素子であって、井戸層に $GaxIn_{1-x}N$  ( $0 \leq x \leq 1$ )、井戸層と接触する障壁層が $Al_kGa_lIn_mN$  ( $0 \leq k, l, m \leq 1, k+l+m=1$ ) であり、該障壁層の禁制帯幅が該井戸層の禁制帯幅よりも大きい半導体発光素子。

【請求項21】量子井戸を有する半導体発光素子であって、井戸層に $GaxIn_{1-x}N$  ( $0 \leq x \leq 1$ )、井戸層と接触する障壁層が $Al_kGa_lIn_mN$  ( $0 \leq k, l, m \leq 1, k+l+m=1$ ) であり、井戸層と障壁層のIn組成がほぼ等しい半導体発光素子。

【請求項22】n型の $Al_kGa_lIn_mN$  ( $0 \leq k, l, m \leq 1, k+l+m=1$ ) を有する半導体素子であって、n型の $Al_kGa_lIn_mN$ に形成される電極がチタン(Ti)と白金(Pt)を含有しており、前記チタンがn型の $Al_kGa_lIn_mN$ 側に位置することを特徴とする半導体素子。

【請求項23】前記n型の $Al_kGa_lIn_mN$ に形成される電極がモリブデン(Mo)を含有する請求項22に記載の半導体素子。

【請求項24】n型の $Al_kGa_lIn_mN$  ( $0 \leq k, l, m \leq 1, k+l+m=1$ ) を有する半導体素子であって、n型の $Al_kGa_lIn_mN$ に形成される電極がTiNを含有することを特徴とする半導体素子。

【請求項25】n型の $Al_kGa_lIn_mN$  ( $0 \leq k, l, m \leq 1, k+l+m=1$ ) を有する半導体素子であって、n型の $Al_kGa_lIn_mN$ に形成される電極がTiNと金(Au)を含有しており、TiNがn型の $Al_kGa_lIn_mN$ 側に位置することを特徴とする半導体素子。

【請求項26】電極が接触する半導体層がn型の $GaxIn_{1-x}N$  ( $0 \leq x \leq 1$ )であることを特徴とする請求項21～25のいずれかに記載の半導体素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は青色発光ダイオード、青色半導体レーザ等の半導体素子に用いられる窒化ガリウム系化合物半導体の発光素子およびその製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 $Al_xGayIn_zN$  (但し、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ )の窒素をV族元素とする化合物半導体は、最近、常温におけるレーザ発振が発表され、青色半導体レーザ等の発光素子等への応用が期待されている (例えば、アブライド・フィジクス・レター 69 (1996年) 4056項-4058項 (Applied Physics Letters 69 (1996) 4056-4058))。この窒化ガリウム系化合物半導体を有する半導体素子は、サファイア基板上に $Al_xGa_{1-x}N$ 、 $In_yGa_{1-y}N$ から成るn型層、i型層、あるいはp型層を積層することによって得られる。

【0003】窒化ガリウム系化合物半導体の結晶成長は、有機金属気相成長法 (MOCVD法)、分子線エビタキシー法 (MBE法) 等の成長方法が用いられる。例えば、MOCVD法について簡単に説明すると、サファイア基板を設置した反応室内に反応ガスとしてトリメチルガリウム (TMG)、トリメチルアルミニウム (TMA) 等の有機金属とアンモニア (NH<sub>3</sub>) 等のガスを供給し、サファイア基板の表面温度を700～1100℃の高温に保持して、基板上に窒化ガリウム系化合物半導体のエビタキシャル層を成長させる。このとき、ジエチル亜鉛 (DEZn)、モノシラン (SiH<sub>4</sub>) 等を同時に供給することによって、窒化ガリウム系化合物半導体をp型、i型、あるいはn型伝導に制御できる。

【0004】GaN系の発光素子ではサファイアを基板を用いており、この場合は、へき開によって半導体レーザの共振器を形成するのは困難である。共振器の形成にはドライエッチング等を用いる必要がある (アブライド・フィジクス・レター 69 (1996年) 4056項-4058項 (Applied Physics Letters 69 (1996) 4056-4058))。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、GaN系の発光素子でドライエッチング等によって共振器を形成した場合、共振器端面の固有欠陥により非発光中心が形成され、半導体レーザ等に応用する場合、動作電流が高くなったり、信頼性を低下させる等の悪影響が生じる。

【0006】また、共振器面の凹凸 (Roughness) が少なくとも数十nm以上となり、光の乱反射によってミラー

損失を生じ、しきい値電流や動作電流の上昇をもたらす。

【0007】そこで本発明は、このような課題を解決し、信頼性の高い青色半導体レーザ等のGaN系半導体素子およびその製造方法を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明の手段は以下の通りである。

【0009】まず、選択成長可能な膜を用いて活性層を含む半導体多層膜を成長させ、特に共振器を形成するためにドライエッチングを用いることなく、半導体発光素子を形成することができる。これにより、ドライエッチングによる、端面へのダメージがなく、特性のよい発光素子とすることができる。

【0010】活性層を含む半導体多層膜を、選択成長可能な膜の一部の上にも形成する。多層膜の活性層よりも上の膜は、活性層よりもバンドギャップが大きいので、窓構造とすることができ、高出力化を達成できる。また、この共振器端面を、高抵抗化することも可能である。この高抵抗化には、水素原子を含有するガス中で熱処理する方法を用いると容易に高抵抗とすることができる。

【0011】発光素子の共振器端面のコーティング膜を $Sr_xTi_yO_z$ 材料を用いる。これにより、耐圧を高くできるので、特に $AlGaInN$ 系のレーザには有効である。

【0012】エッチング方法として、半導体の積層膜が、 $GaxIn_{1-x}N$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) と、Al組成が0.1以上である $Al_kGa_lIn_mN$  ( $0.1 \leq k, l, m \leq 1, k+l+m=1$ ) とを有する半導体多層膜であって、少なくともフッ素を含有するガスを用いて選択的に $GaxIn_{1-x}N$ 層の一部をエッチングする方法がある。エッチングガスとしては、塩素を含有するガスとフッ素の含有するガスとの混合ガスを用いてもよい。

【0013】レーザの横モード制御としては、レーザ光を単一横モードにするためのストライプ状の開口部を有する半導体レーザであって、キャリアを活性層に注入する幅が該ストライプの幅よりも狭いくする構造、または、レーザ光を単一横モードにするためのリッジ状のストライプを有する半導体レーザであって、キャリアを活性層に注入する幅が該リッジ状のストライプの幅よりも狭くする構造がある。

【0014】n型 $Al_kGa_lIn_mN$  ( $0 \leq k, l, m \leq 1, k+l+m=1$ ) への電極として、チタンと白金を含有し、チタンがn型の $Al_kGa_lIn_mN$ 側に位置するもの、またモリブデンを含有するものがある。さらに、n型の $Al_kGa_lIn_mN$  ( $0 \leq k, l, m \leq 1, k+l+m=1$ ) への電極として、TiNを含有するものがある。

【0015】

【発明の実施の形態】以下、この発明の実施例を図面を

参照しながら説明する。

【0016】（実施の形態1）図1にこの発明の一実施例のGa<sub>0.8</sub>In<sub>0.2</sub>N系半導体レーザの構造を示す。Ga<sub>0.8</sub>In<sub>0.2</sub>N系とは、Ga<sub>0.8</sub>In<sub>0.2</sub>Nはもちろん、AlGa<sub>0.8</sub>In<sub>0.2</sub>N、Ga<sub>0.8</sub>In<sub>0.2</sub>N等を含むものとする。

【0017】この半導体レーザは、図1（a）に示すように、例えば（0001）面サファイア基板1上にn-GaNコンタクト層3を介してGa<sub>0.8</sub>In<sub>0.2</sub>N活性層5をn-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層4およびp-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層6で挟むダブルヘテロ構造を有している。p-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層6の上部には、p-GaNコンタクト層7を有し、p-GaNコンタクト層7側にはp側電極8が設けてある。p-GaNコンタクト層7、p-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層6、Ga<sub>0.8</sub>In<sub>0.2</sub>N活性層5、n-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層4の一部はエッチングによって除去されている。また、n-GaNコンタクト層3の一部も層の途中までエッチングされており、n-GaNコンタクト層3上にn側電極9が設けてある。

【0018】この半導体レーザの共振器ミラーは選択成長によって形成されている。この共振器ミラーはサファイア基板1の主面にほぼ垂直である。選択成長によって共振器ミラーを形成するために、サファイア基板1上のn-GaNコンタクト層3の側部にはSiO<sub>2</sub>膜2により覆われている。このSiO<sub>2</sub>膜2は共振器ミラーを形成するときの選択成長用のマスクとして設けたものであり、最終的にはエッチングによって除去しても構わない。選択成長用マスクには、SiO<sub>2</sub>、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>、SiO<sub>x</sub>N<sub>y</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、AlON、TiO<sub>x</sub>を用いることができる。

【0019】この素子は、図1（b）で示されるように、サファイア基板1上に選択成長により形成される。この図1（b）でのSiO<sub>2</sub>膜2が選択成長用のマスクとなる。各素子は、図に示された点線に沿って分離され、1つの素子になる。

【0020】図1に示す半導体レーザの作製方法の一例を図2を用いて説明する。レーザ素子は、サファイア基板上に多数形成できるが、簡単にするため、素子の1つの部分について説明を加えていく。

【0021】まず、（0001）面サファイア基板1上にSiO<sub>2</sub>膜2を堆積し、フォトリソグラフィ技術とエッチング技術によって、ストライプ状に加工する（図2（a））。共振器方向の開口部の幅は500ミクロンである。この幅はレーザの共振器の長さにはほぼ合わせればよい。

【0022】次に、有機金属気相成長法（MOVPE法）などの結晶成長方法を用いて、サファイア基板1上にn-GaNコンタクト層3、n-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層4、Ga<sub>0.8</sub>In<sub>0.2</sub>N活性層5、p-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層6、p-GaNコンタクト層7の

半導体多層膜をエピタキシャル成長する（図2

（b））。ここで、SiO<sub>2</sub>膜2上には結晶は堆積していない。選択成長により多層膜をエピタキシャル成長させているのである。

【0023】つぎに、一部の領域のp-GaNコンタクト層7、p-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層6、Ga<sub>0.8</sub>In<sub>0.2</sub>N活性層5、n-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層4、およびn-GaNコンタクト層3の途中までをイオンミリングによってエッチングする（図2（c））。その後、p-GaNコンタクト層7上にp側電極8、n-GaNコンタクト層3上にn側電極9を形成する（図2（d））。

【0024】以上の方法により、図1に示すような半導体レーザを作製することができる。このレーザの共振器端面は、選択成長マスクを用いた選択成長により自己整合的に形成できるので、従来のように、半導体多層膜を成長した後、共振器を形成するためにドライエッチングをする必要はない。

【0025】図2（b）のX-Y方向の断面、すなわち共振器方向の断面図は、図3に示すようになっている。SiO<sub>2</sub>膜2上には、多層膜結晶は堆積していない。選択成長によって活性層を含む半導体多層膜を成長させているからである。但し、成長条件を選択することによって、多少、横方向に成長（ラテラル成長）させることも可能である。これを図4に示す。図のように、半導体多層膜4～7は、SiO<sub>2</sub>膜2の上にも形成できる。この場合でも、サファイア基板1に、共振器ミラー201がほぼ垂直であれば、半導体レーザの特性を低下させることはない。

【0026】このラテラル成長を積極的に応用したレーザ構造について説明する。共振器ミラー201の表面、すなわち出射面は、レーザ光のエネルギーhνよりも大きなバンドギャップを持つp-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N層やp-GaN層で覆われた、いわゆる窓構造（Window Structure）になっている。図4では、窓領域として示してある。

【0027】図4のような窓構造を持つレーザでは、CODなどの端面破壊が生じず、窓構造を持たないレーザの2倍以上の高い出力を得ることができる。また、短波長レーザに特有の端面劣化による信頼性の低下も抑制でき、高い信頼性の半導体レーザを得ることが可能となる。

【0028】図4の窓領域の多層膜4～7は、共振器面と垂直方向の厚みが小さい。しかしながら、端面近傍に高抵抗領域を設けることにより、この厚みが小さい領域のリーク電流を抑制することができる。

【0029】図6に示すようにp型不純物を水素等によって不活性化させ、不活性化領域を設ける方法がある。具体的にはアンモニア（NH<sub>3</sub>）ガス中で600℃でアニールしたり、または、水素プラズマ中で300℃で処

理することによってp型不純物を不活性化することができる。この際、不活性化により高抵抗化してはならない部分、たとえばp型コンタクト層やクラッド層などは、SiO<sub>2</sub>膜等によって被覆し、水素の侵入を防止する必要がある。

【0030】次に、この半導体レーザの端面コーティングについて説明する。端面コートには、SiO<sub>2</sub>膜203とSrTiO膜204から成る多層膜を用いている(図5(a)および(b))。GaN系の半導体レーザでは、端面コートにSiO<sub>2</sub>とTiO<sub>2</sub>の多層膜を用いられているが、駆動電圧が約5Vと高いために、端面コートで微少なリークが生じると、発熱により端面劣化を起してしまう。特にこのGaN系のレーザのように短波長のレーザでは、この端面からの劣化が信頼性の低下に支配的である。ここでは、端面コートとして、TiO<sub>2</sub>膜にSrを添加したSrTiO膜を用いることによって、高電圧に耐え、耐圧特性が大幅に向上し、高い信頼性を得ることができる。このSrTiO膜を用いる端面コートは、GaN系半導体レーザに限らず、高耐圧を要求されるレーザに有効である。

【0031】次に、このレーザのn側電極について説明する。従来n側の電極にはTiとAlが用いられているが、放熱のためのサブマウントへの実装やワイアボンディングなどを行う際に最表面はAuにする必要がある。しかし、高温や高電圧で動作した場合、Auがn型GaNコンタクト層まで拡散し、コンタクト抵抗の上昇を招き、駆動電圧を上昇させてしまうことがわかった。その結果、信頼性を著しく損なってしまう。これは、Auの仕事関数が5.1eVと大きく、拡散によってn型GaNコンタクト層に達するとショットキー障壁が増大してコンタクト抵抗が上昇するためである。このAuの拡散を抑制する方法について図14を用いて説明する。

【0032】図14に示すように、n-GaNのコンタクトメタルにMo(モリブデン)を用いた。図14

(a)ではAu(金)の下部(n-GaN側)にPt(白金)を挿入してある。これにより過剰なAuの拡散を制止でき、コンタクト抵抗の上昇を抑制できる。図14(a)ではPtの下部にさらにTi(チタン)を入れている。Ptもまた仕事関数が5.65eVと高く、拡散によりコンタクト抵抗の上昇を招く恐れがある。Tiの挿入でPtの拡散を抑制する。図14(b)ではAuの下部にTiNを挿入してある。これにより過剰なAuの拡散を制止でき、コンタクト抵抗の上昇を抑制できる。

【0033】図14ではn-GaNのコンタクトメタルにMoを用いた場合について説明したが、他の金属でも良く、例えばW、Ta、Ti、Alでもよい。ただし、これらの金属においてもAuやPtの拡散を抑制するために本発明のような手法をとる必要がある。また、特にAlGaInN系半導体レーザについて述べたが、この電極はダブルヘテロFETなどの電気デバイスでも使

用することができる。

【0034】(実施の形態2)半導体レーザの単一横モード化のためにリッジ・ストライプの形成やリセス・エッチングを行う必要があるが、その形成プロセスは精度良く行う必要がある。GaN系材料ではドライエッチングによってリッジ等を形成するが、一般的にエッチングの停止の判断は、時間制御で行うことが多い。しかし、この方法ではエッチングに少なくとも±10%の程度の誤差を生じることもあり、精度の良いエッチングは期待できず、横モードの制御といった目的を達成できない。そこで、精度良くエッチングし、リッジストライプを形成するための方法を図7を用いて説明する。

【0035】まず、(0001)面サファイア基板301上に有機金属気相成長法(MOVPE法)などの結晶成長方法を用いて、n-GaNコンタクト層302、n-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層303、活性層304、p-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N第一クラッド層305(厚さ0.15ミクロン)、p-GaN第二クラッド層306、p-GaNコンタクト層307をエピタキシャル成長する(図7(a))。次に、SiO<sub>2</sub>膜308を堆積し、フォトリソグラフィ技術とエッチング技術によって、ストライプ状に加工する(図7(b))。

【0036】次に、SiO<sub>2</sub>膜308をエッチングマスクとし、電子サイクロトロン共鳴反応性イオンビームエッチング(ECR-RIBE)を用い、塩素(C12)フッ化硫黄(SF<sub>6</sub>)の混合ガスによってp-GaN第二クラッド層306をエッチングする(図7(c))。

【0037】第二クラッド層306のエッチングで、p-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N第一クラッド層305の表面には、AlとFとの強固な反応生成物が形成されエッチングが進行しなくなり、エッチングが停止する。これは、第一クラッド層305のAl組成を0.1以上に行っているからである。

【0038】その後フッ酸(HF)によってSiO<sub>2</sub>膜308を除去し、エッチングした第二クラッド層306を含むリッジストライプ上に新たにSiO<sub>2</sub>膜309を堆積し、フォトリソグラフィ技術とエッチング技術を用いてn-GaNコンタクト層までエッチングする(図8(a))。

【0039】最後に、p-GaNコンタクト層307の上部のSiO<sub>2</sub>膜309の一部に開口部を設けp側電極310を形成し、また、n-GaNコンタクト層302にはn側電極310を形成する(図8(b))。

【0040】AlGaInN系はIII族元素とV族元素の結合が非常に強く、ドライエッチングにおいては、反応性より、物理的なスパッタリングを強くする必要がある。例えば、C12ガスを用いたECR-RIBEでは加速電圧を500eVにしてスパッタリングを強める。スパッタリングの強い条件では、GaInNとAlGaI

nNの組成を変えても選択性は上がりにくいが、Alの組成が少なくとも0.1入っていればSF<sub>6</sub>を加えることにより、Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nで制御良くGa<sub>0.9</sub>Nのみをエッチングできることがわかった。エッチングガス中のF（フッ素）とAlとが強固な結合をするために、このような選択エッチングが可能である。したがって、エッチングガスとしては、SF<sub>6</sub>の他に、Fを含むものをもちいれ

ばよい。  
【0041】エッチングに用いるガスは、SF<sub>6</sub>のほか、CH<sub>v</sub>F<sub>4-v</sub>（1≤v≤3）または、CCl<sub>w</sub>F<sub>4-w</sub>（1≤w≤3）であればよいし、これらの混合ガスであってもよい。

【0042】図1の半導体レーザおよび図2の半導体レーザの製造方法では、横モード制御のためのストライプ形成については特に説明していないが、例えば図7の方法が適用して、横モード制御のためのストライプ構造を有したものにしてもよい。

【0043】また、このエッチング方法は、AlGaInN系半導体レーザの場合について述べたが、このエッチング方法は、AlGaInN系の電気デバイスでも使用することができる。

【0044】（実施の形態3）実施形態2では、横モード制御のためのストライプを形成した半導体レーザの構造について説明したが、さらなる横モードの安定化について図7と図9を用いて説明する。

【0045】この実施形態のレーザストライプ構造は、ストライプの幅よりも狭い領域に電流注入領域を設けるものである。言い換えれば、狭い領域に電流注入し、それよりも広い領域で光の閉じ込めをする構造である。

【0046】図10に示すように、第2クラッド層306、コンタクト層307を含むリッジストライプ中に、不活性化領域401が形成され、この領域401には電流が注入されない構造である。このような構造により、電流は、電極310からコンタクト層307を通してクラッド層306に注入される。先ほどもいったように、電流は不活性化領域401は流れない。したがって、電流は、不活性化領域401には含まれた領域のクラッド層306を流れる。さらに電流は、活性層304に注入され、ここでキャリアの再結合により発光するが光は、不活性化領域401を含めたリッジストライプを感じて、このリッジストライプ中に閉じ込められるようになる。

【0047】図10で示すこの構造の製造方法について説明する。図7（b）の工程の後にH<sub>2</sub>プラズマ中で350℃で熱処理すると、図9に示すようにSiO<sub>2</sub>膜308の幅5.0ミクロンよりも狭い幅2.5ミクロンを残してp型半導体が不活性化される。これは、水素がp型半導体層305～307に侵入することによるパッシベーション効果による。この不活性化領域は、図9において不活性化領域401として示してある。その後の工程

は図7（c）および図8と同様であるが、最終的には図10に示すような構造となる。図10に示すような構造にする理由を以下に示す。

【0048】Ga<sub>0.9</sub>N系結晶は、正孔の有効質量が他のII-V族半導体に比べ大きい。またこのGa<sub>0.9</sub>N系は発振波長が短く、高出力化しようとする端面での劣化が問題となってくる。したがって、リッジストライプの幅を小さくし、光の閉じ込めを強くしすぎると光密度があがってしまい、端面破壊が起こりやすくなる。そこでストライプ幅をある程度広く設定し、光密度を低くする構造とする。

【0049】しかしながら、ストライプ幅を広くすると、空間的ホールバーニングにより、光密度が一番高い部分のキャリアが枯渇し、横モードが単峰性から双峰性になってしまう。そこで、電流の流れる領域が光密度が高くなるストライプの中心付近になるように制限してやることにより、キンクの発生を抑制でき、10mW以上の高い出力でも安定な横モードを達成することができる。

【0050】この実施形態では、H<sub>2</sub>プラズマ中で350℃で熱処理しp型半導体を不活性化することで、高抵抗化を達成したが、キャリアを活性層に注入する幅が単一横モードにするためのストライプの幅よりも狭くする方法であればどのような方法によってもよい。例えば、イオン注入でもよい。

【0051】次に活性層の構造について説明する。図1では活性層に図11に示すようなGa<sub>0.2</sub>In<sub>0.8</sub>Nを用いた場合について説明したが、活性層には多重量子井戸（MQW）を用いてもよい。例えば、図13に示すようなGa<sub>0.2</sub>In<sub>0.8</sub>N井戸層404とGa<sub>0.95</sub>In<sub>0.05</sub>N障壁層405から成るMQW構造でも構わない。

【0052】図13の構造では伝導帯側と価電子帯側のバンド不連続の比率は約1:1になっている。レーザの温度特性等の向上のためには伝導帯側、すなわち有効質量の小さなバリアΔE<sub>c</sub>を高くする方がよい。そうすることで、例えば、キャリア（電子）のpクラッド層へのオーバーフローを抑制でき、レーザ特性が向上する。MQW構造の一例を挙げると、図12に示すように障壁層にAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.8</sub>In<sub>0.1</sub>N層402を用いる方法がある。

【0053】結晶成長の観点から言えば、MQW構造の井戸層（ウェル層）と障壁層（バリア層）のIn組成はほぼ等しくするのが望ましい。その理由を以下に示す。AlGaInN系半導体の結晶成長温度は700℃以上と非常に高い。AlGaInN系半導体を成長する際に、III族元素であるAlとGaとInの組成を正確に制御する必要があるが、この3つの元素のうちInの組成制御が最も難しい。それは、Inの蒸気圧が高いため、700℃以上という高い成長温度では、取り込まれたInが結晶表面から再蒸発してしまうためである。そ



ここで、MQW構造の井戸層と障壁層のIn組成をほぼ同じくすることで、MQW構造内でのInの取り込まれをほぼ一定にし（すなわち原料であるTMIの流量はほぼ一定とし）、結晶成長をより容易にすることができる。

【0054】この構造により、井戸層と障壁層のIn組成をほぼ等しくし、 $\Delta E_c$ の大きな活性層構造を構成できるので、レーザの環境温度を80度程度の高温にしても、電子のオーバーフロが小さく、しきい値の小さいレーザを実現することができる。

【0055】

【発明の効果】本発明によれば、選択成長によりレーザの共振器を形成することができるため、共振器面での固有欠陥により非発光中心が形成を抑制でき、信頼性の高い半導体レーザを実現することができる。

【0056】本発明によれば、半導体レーザの共振器面の最上面が、発光波長のエネルギーよりも大きなバンドギャップエネルギーを有する、いわゆる窓構造とすることができるので、高出力動作が可能となり、信頼性の高い半導体レーザを実現することができる。また、共振器面の近傍を高抵抗化することで、信頼性の高い半導体レーザとすることができる。

【0057】本発明によれば、端面コート膜に $Sr_{xTi_{1-x}}O_z$  ( $x>0$ ) をを用いることにより、端面破壊に強い、耐圧の高い半導体レーザを得ることができる。

【0058】本発明によれば、半導体の積層膜が $Ga_{1-x}In_xN$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) と $Al_kGa_{1-k}In_mN$  ( $0 \leq k, l, m \leq 1, k+l+m=1$ ) を有し、少なくともフッ素を含有するガスを用いて選択的に上記 $Ga_{1-x}In_xN$ 層の一部をドライエッチングし、かつ該 $Al_kGa_{1-k}In_mN$ のAl組成kが0.1以上とすることで、エッチングの選択性を高めることができる。

【0059】本発明の半導体レーザによれば、レーザ光を単一横モードにするために、キャリアを活性層に注入する幅が、ストライプの幅よりも狭くすることで、横モードを安定化させることができる。

【0060】本発明の半導体レーザによれば、井戸層に $Ga_{1-x}In_xN$  ( $0 \leq x \leq 1$ )、井戸層と接触する障壁層が $Al_kGa_{1-k}In_mN$  ( $0 \leq k, l, m \leq 1, k+l+m=1$ ) の多重量子井戸構造とし、 $\Delta E_c$ を大きくすることで、温度特性を向上させることができる。

【0061】本発明によれば、n型の $Al_kGa_{1-k}In_mN$  ( $0 \leq k, l, m \leq 1, k+l+m=1$ ) に形成される電極にPtおよびTiを含有させることで、Auの拡散によるコンタクト抵抗の上昇を抑制できる。

【0062】本発明によれば、n型の $Al_kGa_{1-k}In_mN$  ( $0 \leq k, l, m \leq 1, k+l+m=1$ ) に形成される電極にTiNを含有させることで、Auの拡散によるコンタクト抵抗の上昇を抑制できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の半導体レーザの構造断面図

【図2】本発明の半導体レーザの製造工程断面図（共振器方向）

【図3】本発明の半導体レーザの断面図

【図4】本発明の半導体レーザの断面図

【図5】本発明の半導体レーザの断面図

【図6】本発明の半導体レーザの断面図

【図7】本発明の半導体レーザの製造工程断面図（共振器と垂直方向）

【図8】本発明の半導体レーザの製造工程断面図（共振器と垂直方向）

【図9】本発明の半導体レーザの製造工程断面図（共振器と垂直方向）

【図10】本発明の半導体レーザの断面図（共振器と垂直方向）

【図11】本発明の活性層付近のバンドキャップエネルギー図

【図12】本発明の活性層付近のバンドキャップエネルギー図

【図13】従来の活性層付近のバンドキャップエネルギー図

【図14】本発明のn側電極構造断面図

【図15】従来のGa<sub>0.8</sub>In<sub>0.2</sub>N系半導体レーザの構造断面図

【符号の説明】

1 n-サファイア基板

2 SiO<sub>2</sub>マスク

3 n-GaNコンタクト層

4 n-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層

5 Ga<sub>0.8</sub>In<sub>0.2</sub>N活性層

6 p-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層

7 p-GaNコンタクト層

8 p側電極

9 n側電極

201 共振器ミラー

202 端面コート

203 SiO<sub>2</sub>

204 SrTiO<sub>3</sub>

301 n-サファイア基板

302 n-GaNコンタクト層

303 n-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層

304 活性層

305 p-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N第一クラッド層

306 p-GaN第二クラッド層

307 p-GaNコンタクト層

308 SiO<sub>2</sub>

309 SiO<sub>2</sub>

310 p側電極

311 n側電極

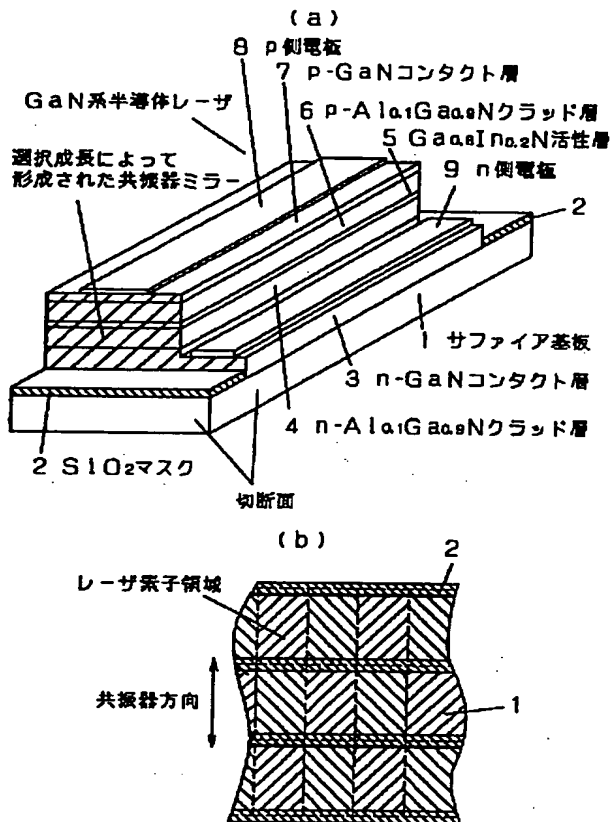
401 不活性領域

501 Ga<sub>0.8</sub>In<sub>0.2</sub>N井戸層

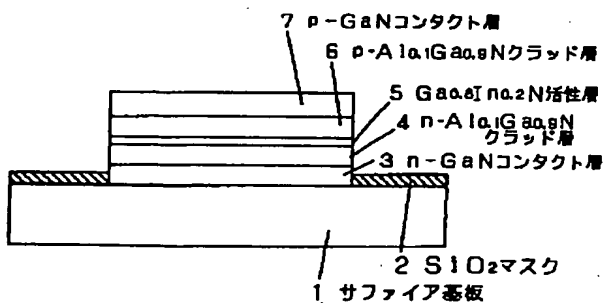
502 Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.8</sub>In<sub>0.1</sub>N障壁層

- 503 光ガイド層  
 504 Ga<sub>0.8</sub>In<sub>0.2</sub>N井戸層  
 502 Ga<sub>0.95</sub>In<sub>0.05</sub>N障壁層  
 1001 サファイア基板  
 1002 GaN層  
 1003 n型GaN層  
 1004 n型Al<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N層

【図1】

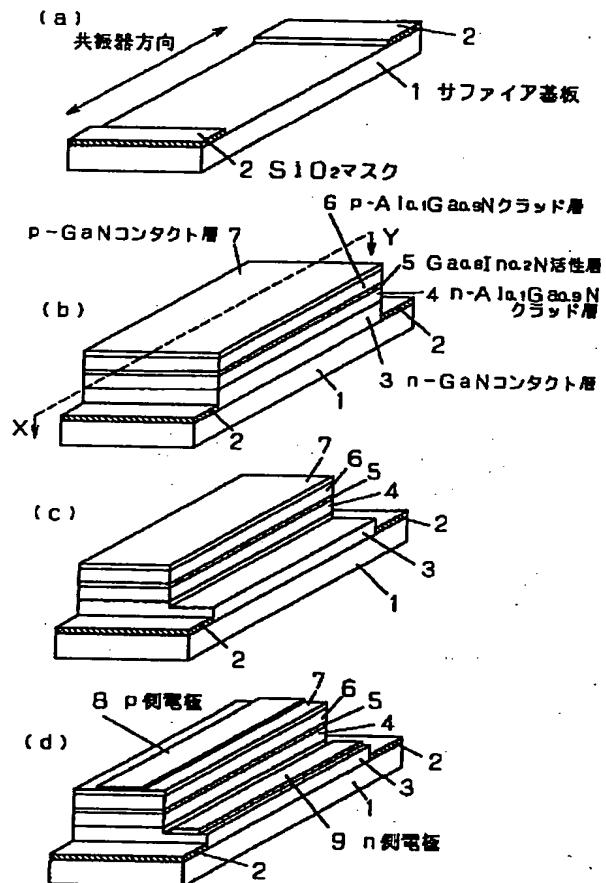


【図3】

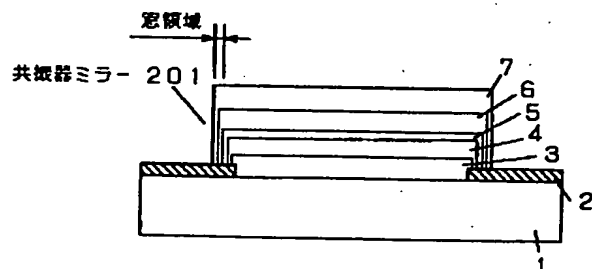


- 1005 n型GaN層  
 1006 MQW活性層  
 1007 p型GaN層  
 1008 p型Al<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N層  
 1009 p型GaN層  
 1010 p側電極  
 1011 n側電極

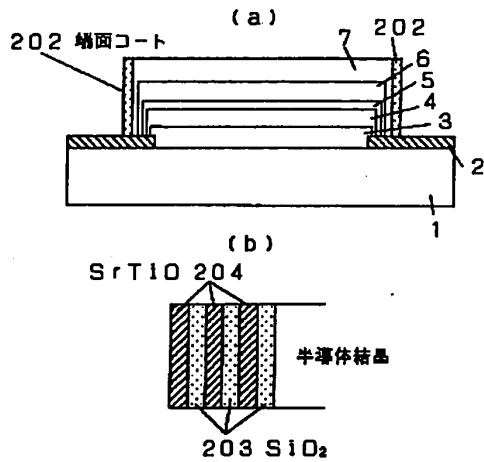
【図2】



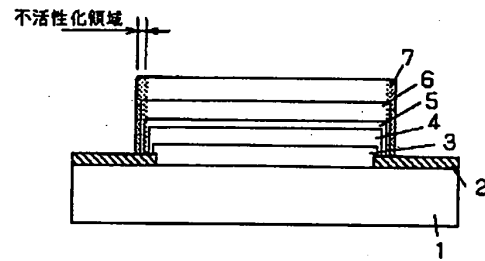
【図4】



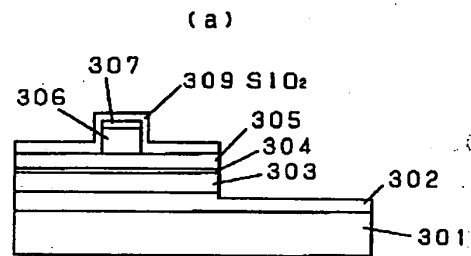
【図5】



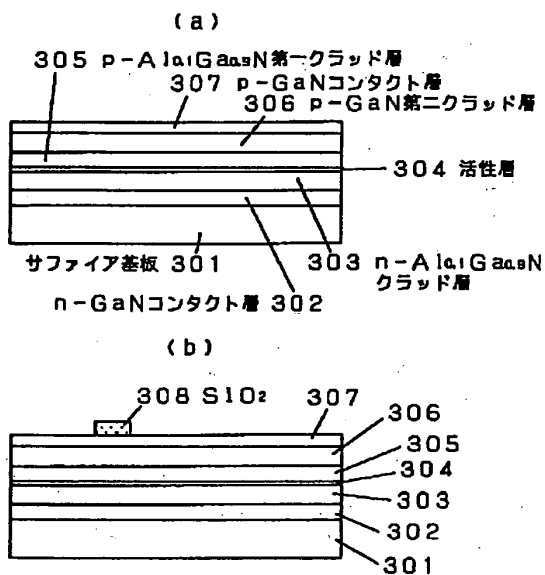
【図6】



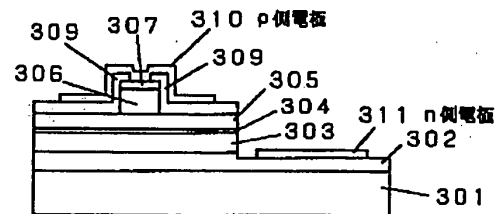
【図8】



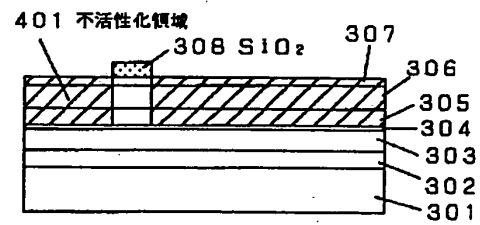
【図7】



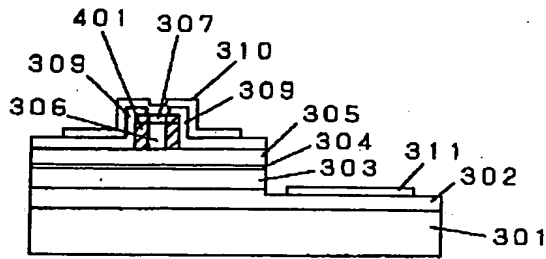
(b)



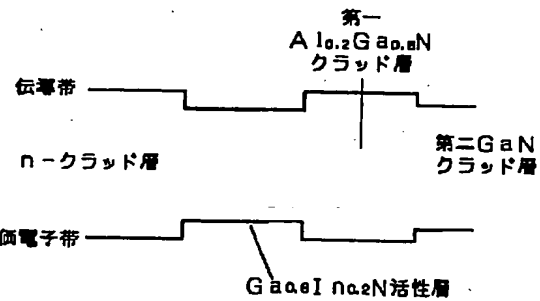
【図9】



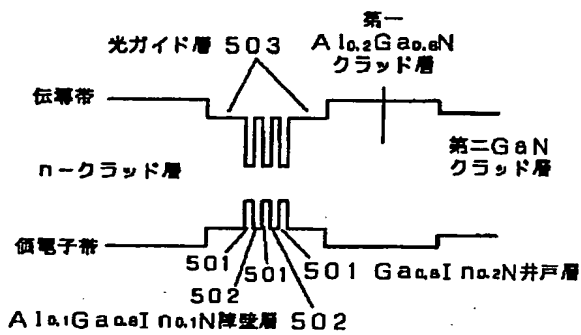
【図10】



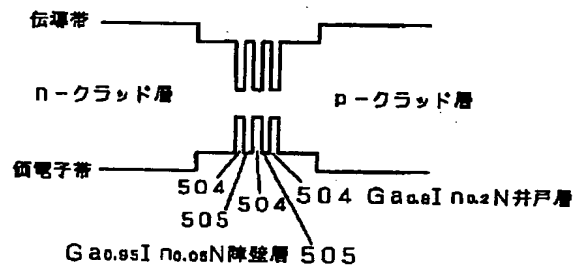
【図11】



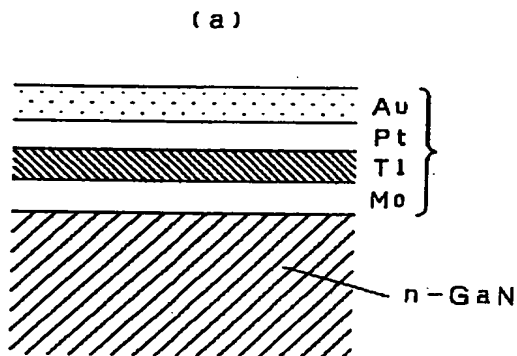
【図12】



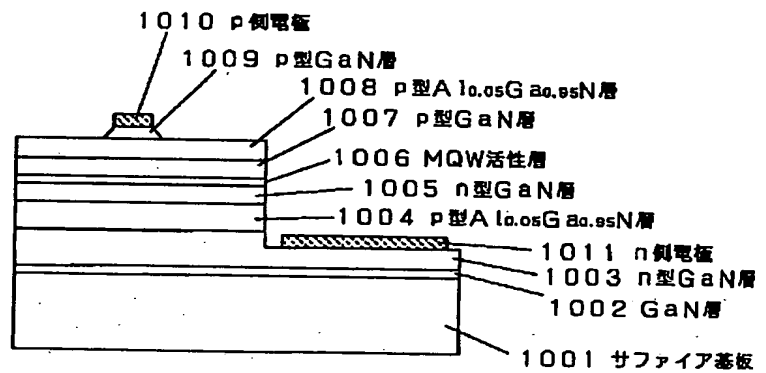
【図13】



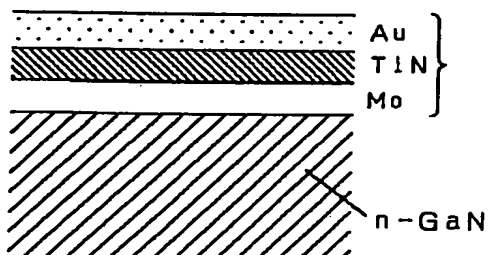
【図14】



【図15】



(b)



フロントページの続き

(72)発明者 石橋 明彦  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72)発明者 伴 雄三郎  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

